

срединного по длине ($x = L/2$) сечения пластины. Как видно из рисунков, полученное поле остаточных сварочных напряжений согласуется с экспериментальными данными.

4 Выводы

Сравнение эпюр остаточных деформаций (рис. 3) показывает, что уменьшение ширины свариваемых пластин приводит к появлению на внешних границах сварного соединения продольных (ϵ_{xx}) остаточных деформаций противоположного по сравнению с зоной вблизи сварного шва знака, то есть деформаций сжатия. Величины компонент ϵ_{yy} и ϵ_{zz} при этом имеют существенно меньшие значения. Следовательно, в сварных соединениях, ширина которых сравнима с прогреваемой в процессе сварки до высоких температур околосшовной зоной, уравнивание эпюр остаточных напряжений достигается за счет появления сжимающих осевых остаточных деформаций (распределение температур показано штриховой линией на рис. 2).

Список литературы: 1. *Опара В.С., Кудинов В.М., Петушков В.Г.* Роль деформаций изгиба в снижении остаточных сварных напряжений электрогидроимпульсным методом // Автомат. сварка. – 1982. – № 3. С. 20-23. 2. *Винокуров В.А.* Сварочные деформации и напряжения. Методы их устранения. – М.: Машиностроение, 1968. 3. *Барбашова Г.А., Каменская Л.А.* Влияние нагрузки, создаваемой каналом электрического разряда в воде, и гидродинамической нагрузки на напряженно-деформированное состояние сварного соединения // Электронная обработка материалов. – 2007. – № 3. – С. 20-23. 4. *Новацкий В.* Теория упругости. – М.: Мир, 1975.

Поступила в редакцию 01.10.2008.

УДК 621.319.4

Ю.В.КРАВЧЕНКО, НТУ «ХПИ», Харьков

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРНОЙ СИСТЕМЫ СО СКРУГЛЕННОЙ КРОМКОЙ КРАЯ ОБКЛАДКИ

Проведено розрахунок електричного поля конструкції конденсаторного типу з закругленою кромкою краю обкладки. Зроблено порівняльний аналіз отриманих результатів з даними, що були одержані при розрахунку електричного поля для конденсаторної конструкції з обкладкою, кромка краю якої не закруглена

The calculation of electric field for capacitor type construction with the rounding rim of plate edge is made. The comparative analysis of received results with the obtained data of electric field calculation for capacitor construction with unrounding rim of plate edge is realized.

Актуальность. Для высоковольтных импульсных конденсаторов с высокими удельными характеристиками наиболее распространенной причиной

отказов является разрушение изоляции вблизи края обкладки, т.н. «краевой эффект». В работе [1] были определены коэффициенты усиления электрического поля на поверхности скошенного края обкладки конденсатора с учетом комбинированной структуры диэлектрика и полученных в ходе экспериментальных исследований [2] данных о изменении угла скоса торца, изменяющимся вдоль периметра обкладки в диапазоне от 30^0 до 90^0 . Однако, произведенные в [1] расчеты имели ряд недостатков, к числу которых следует, прежде всего, отнести разбиение каждой из характерных границ по всей ее длине на равные отрезки интегрирования, а также неограниченный рост значения напряженности электрического поля по мере приближения к точке схождения граней обкладки, образующих угол скоса. В тоже время, очевидно, что в реальном диэлектрике бесконечно большое значение напряженности электрического поля невозможно.

Таким образом, актуальность данной работы заключается в определении характера напряженности поля вблизи скошенного края обкладки с учетом устранения неточностей, допущенных в [1], путем совершенствования расчетной модели и принципа выбора узлов интегрирования характерных границ.

Цель работы. Оценка влияния использования усовершенствованной расчетной модели для определения коэффициента усиления электрического поля вблизи скошенного края обкладки конденсатора в присутствии комбинированного диэлектрика на точность вычислений.

Постановка задачи. Упрощенные модели края обкладки с острой и скругленной кромкой края приведены на рис. 1, а и рис. 1, б, соответственно. Обе модели представляют собой системы, включающие электрод толщиной h со скошенным торцом, находящийся под потенциалом U_0 и расположенный между двумя бесконечными электродами с нулевым потенциалом. К скошенному торцу обкладки примыкает прослойка диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1 , а между обкладками, расстояние между которыми d , расположена изоляция с ϵ_2 . Характерный диапазон изменения геометрических размеров и соотношения диэлектрических проницаемостей аналогичен [1].

Необходимо определить напряженность электрического поля на сходящихся под углом α торцевых поверхностях края обкладки на расстоянии $x \leq 0,1 d$ от вершины угла скоса с учетом изменения радиуса его скругления r .

Методика решения. Для определения напряженности электрического поля в электростатическом приближении использованы следующие граничные условия: $U = U_0$ – потенциал обкладки со скошенным торцом, $U = 0$ – потенциал двух бесконечных электродов, между которыми находится об-

кладка; условие равенства нормальных составляющих вектора электростатической индукции на границе раздела i -го и k -го диэлектриков:

$$\varepsilon_i E_{iN} = \varepsilon_k E_{kN}, \quad (1)$$

где E_{iN} и E_{kN} соответственно нормальные составляющие вектора напряженности электрического поля, действующие соответственно в i -й и k -й диэлектрических средах.

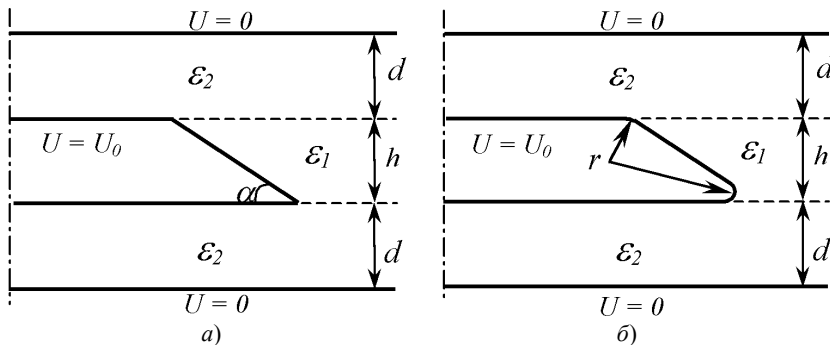


Рисунок 1 – Упрощенные модели края обкладки с радиусами скругления:
а) $r = 0$; б) $r > 0$.

Задача решена методом интегральных уравнений [3] с использованием уравнений Фредгольма первого рода (для потенциалов) и второго рода (для условия равенства нормальных составляющих вектора электростатической индукции на поверхностях раздела сред):

$$\sum_{i=1}^m \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \int_{S_{Qi}} \sigma \cdot \ln \frac{1}{r_{QM}} dS = U_0(M); \quad (2)$$

$$\frac{\sigma(M)}{2\varepsilon_0} + \lambda \cdot \sum_{i=1}^m \int_{S_{Qi}} \sigma \cdot \frac{\cos\left(\vec{r}_{QM}, \vec{n}\right)}{r} dS = 0, \quad (3)$$

где $\lambda = \frac{\varepsilon_k - \varepsilon_i}{\varepsilon_k + \varepsilon_i}$,

σ – поверхностная плотность электрических зарядов на i -х поверхностях электродов и границах раздела диэлектрических сред (всего характерных границ – m);

r_{QM} – расстояние от точки Q расположения поверхностного заряда σ до точки наблюдения M ;

\vec{n} – вектор нормали к поверхности раздела сред, направленный из i -той

среды в k -тую;

S_{Qi} – поверхность i -той границы.

Для реализации компьютерной программы использованы подпрограммы, приведенные в пособии [3]. Результатами расчета являются значения напряженности электрического поля на поверхности электродов и нормальные составляющие напряженности электрического поля на поверхности границ раздела диэлектрических сред. Учет симметрии относительно вертикальной плоскости позволил сократить число неизвестных в 2 раза.

Также значительного сокращения узлов интегрирования, а следовательно, времени вычислений, удалось достигнуть за счет программной реализации рекомендаций [4], учитывающих известный качественный характер изменения функции $E(x)$, как функции, быстро нарастающей у края электрода. Так, расположение узлов интегрирования с учащением на сходящихся расчетных границах позволило при уменьшении общего числа неизвестных в 2 раза получить в наиболее интересующей нас области вблизи края обкладки шаг интегрирования порядка $0,01h$ (что в 10 раз меньше, чем в [1]).

Результаты расчетов. Полученные в ходе расчетов значения коэффициентов усиления поля, $E^* = E/E_0$ (где E – значение напряженности в данной точке, а $E_0 = U_0/d$), вблизи края обкладки на горизонтальной части обкладки и на скошенном торце представлены на рис. 2, a и 2, b , соответственно. Приведенные на рис. 2, a и 2, b , кривые зависимости $E^* = f(x)$, где x – расстояние от данной точки до вершины угла скоса, построены для различных значений радиуса скругления кромки r и отражают случай $\varepsilon_1/\varepsilon_2 = 1$. Следует отметить, что полученные зависимости $E^* = f(x)$ для случаев $\varepsilon_1/\varepsilon_2 \neq 1$ имеют качественный характер изменения аналогичный кривым на рис. 2, a и 2, b .

Найденные в ходе расчетов коэффициенты усиления поля вблизи края обкладки позволяют произвести оценку погрешности вычислений, возникающую при замене расчетной модели рис.1, a на модель, имеющую скругленную кромку с радиусом скругления r , рис. 1, b .

Вычисление относительной погрешности производилось по формуле:

$$\Delta = \frac{E_r - E_{r=0}}{E_r} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где E_r – напряженность поля в точке на расстоянии x от вершины угла скоса α , при расчете по модели на рис. 1, b , $r > 0$;

$E_{r=0}$ – напряженность поля в точке на расстоянии x от вершины угла скоса α , при расчете по модели на рис.1, a , $r = 0$.

Для различных значений радиуса скругления (в интервале $r/h = 0,002 \div 0,02$) были определены точки на расстоянии x от вершины угла скоса, для которых $\Delta = 5\%$ и $\Delta = 3\%$. Результаты расчета представлены в виде функции $x/d = f(r/h)$ для случая $\varepsilon_1/\varepsilon_2 = 1$ и $\alpha = 30^\circ$ на рис. 3.

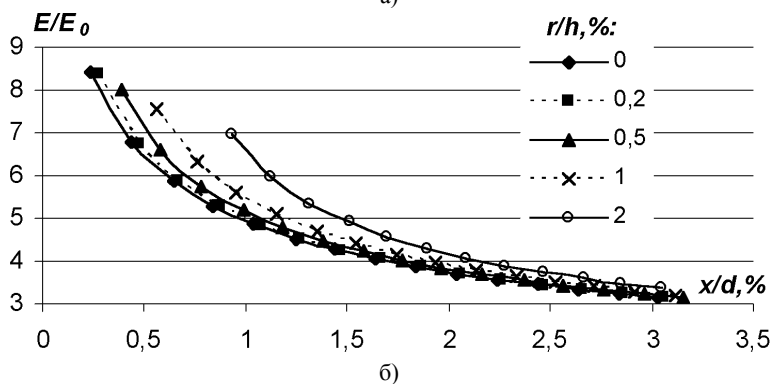
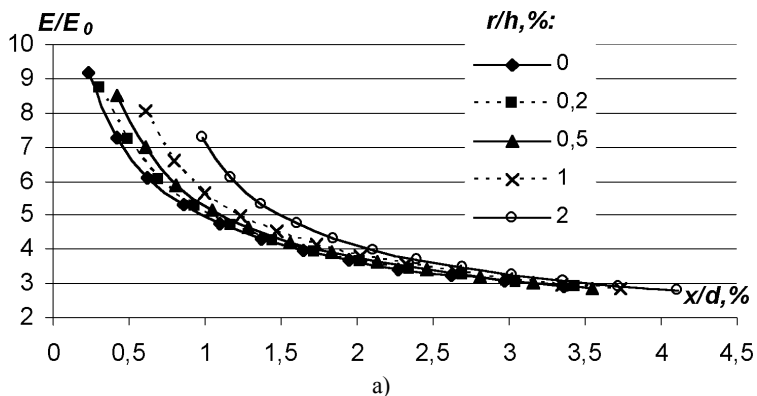


Рисунок 2 – Зависимость $E^* = f(x)$ для угла скоса $\alpha = 30^\circ$ и различных радиусов скругления кромки r : а) на горизонтальной части обкладки; б) на скошенном торце

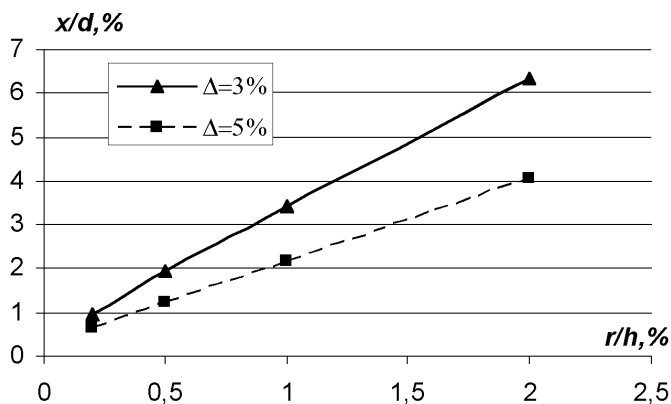


Рисунок 3 – Зависимость расстояния x до точки, соответствующей определенному уровню погрешности при вычислении напряженности поля, от радиуса скругления r

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с ростом величины радиуса скругления происходит увеличение погрешности определения значения коэффициента усиления поля вблизи края обкладки. Причиной роста погрешности вычислений с увеличением радиуса скругления является все более значительное расхождение расчетной модели (рис. 1, б) с исходной (рис. 1, а).

Результаты расчетов свидетельствуют также о том, что для точек, в которых определяется напряженность поля, расположенных на расстоянии $x \geq 5l$ (где l – расстояние от первой точки на горизонтальной стороне обкладки до мнимой вершины угла скоса α) погрешность вычислений при $r/h \leq 0,002$ не превышает 5 %, что хорошо коррелируется с [5]. Таким образом, при рассмотрении поля на подобном удалении от края обкладки влиянием ввода скругления кромки можно пренебречь.

Необходимо также отметить, что с увеличением отношения диэлектрических проницаемостей масляной прослойки к диэлектрической проницаемости твердой изоляции $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ происходит снижение погрешности вычислений для аналогичных точек моделей с равным радиусом скругления кромки (рис. 4).

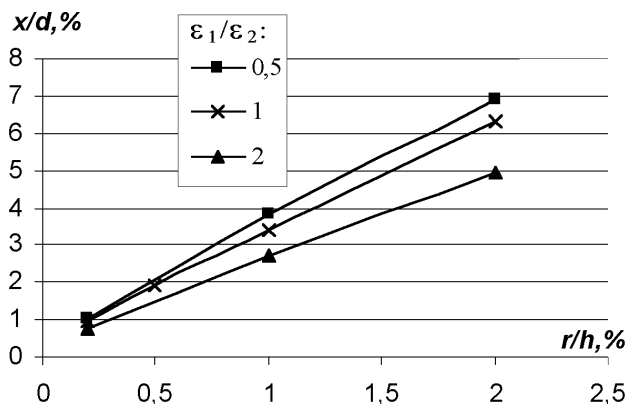


Рисунок 4 – Зависимость расстояния x до точки, соответствующей уровню погрешности $\Delta = 5 \%$, от радиуса скругления r , при различных соотношениях $\varepsilon_1/\varepsilon_2$

Выводы.

- 1 Использование модели края обкладки со скругленной кромкой в качестве расчетной позволяет уйти от особенности ($E \rightarrow \infty$), возникающей в вершине угла скоса. Однако, результаты, полученные в ходе расчетов с использованием моделей рис. 1, а и 1, б, имеют незначительные расхождения в точках на удалении $x > 0,01d$ от вершины угла скоса. Данный факт свидетельствует о возможности применения расчетной модели обкладки без скругленной кромки при расчетах электрического поля вблизи скошенного края обкладки.

- 2 Применение для расчетов радиуса скругления кромки $r > 0,01h$ является нецелесообразным, так как при этом происходит снижение точности вычислений, обусловленное все более существенным уходом от первоначальной расчетной модели с ростом r . Использование $r > 0,01h$ приводит к погрешности вычислений $\Delta > 5\%$ в диапазоне $x < 0,025d$.

Список литературы: 1. В.В.Рудаков, Ю.В.Кравченко, В.О.Лысенко «Краевой эффект» у скошенного края обкладки конденсатора // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: «Техніка і електрофізика високих напруг». – Харків: НТУ «ХП». – 2007. – № 34. – С. 85-92. 2. Рудаков В.В. Оптимизация конструкции конденсатора // Техническая электродинамика. – 1996. – № 5. – С. 6-9. 3. Набока Б.Г. Расчеты электростатических полей в электроизоляционной технике. – К.: ИСИО, 1995. – 120 с. 4. Матис И.Г., Слава Х.Э. Оптимизация распределения узлов интегрирования и оценка погрешности численного решения интегральных уравнений для задач электростатики // «Изв. АН Латв. ССР». – 1975. – № 5. – С. 65-71. 5. Резвыж К.А. Расчет электростатических полей в аппаратуре высокого напряжения. –М.: Энергия, 1967. – 120 с.

Поступила в редколлегию 29.09.2008

УДК 621.396

В.І.КРАВЧЕНКО, докт.техн.наук;
А.Е.ГОРЮШКІН; НТУ «ХП», Харків

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

У статті проведено аналіз особливостей моделювання аналого-цифрового вимірювача параметрів широкосмугових сигналів та запропонована модель широкосмугового імпульсу наносекундної тривалості до та після аналого-цифрового перетворення.

The analysis of specialties for the modeling of devices, realizing Analog-to-Digital methods, suitable for measurement of parameters wide-band signals and the model of extra-short pulse before and after Analog-to-Digital converting are discussed.

Вступ. Важливим моментом при моделюванні функціонування вимірювача є оцінка досяжних характеристик при обробці як реальних сигналів, так і їхніх моделей. При вимірі часових параметрів такими є: для вузькосмугових випромінюючих систем – обвідна (найчастіше прямокутної форми), а для сигналу на основі імпульсів малої тривалості (ІМТ), що випромінюються ультрширокосмуговими системами – деяка функція, що описує напругу на виході приймальної антени реперного вимірювача.